

근대건축물 리모델링을 위한  
습열 거동 분석을 통한 설계기법 연구  
-광주 지성고시원 외벽을 중심으로-

A Study on Modern Architecture Remodeling Design Technique  
through Analysis of Hygrothermal Simulations  
- Focusing on Ji-Sung Accommodation's wall in Gwangju -

김 동 준

Kim, Dong-Jun

((사)한국패시브건축협회 주임연구원)

천 득 염\*

Cheon, Deuk-Youm

(전남대학교 건축학과 교수)

김 태 룡

Kim, Tae-Ryong

((사)한국패시브건축협회 선임연구원)

오 세 규

Oh, Se-Gyu

(전남대학교 건축학과 교수)

Abstract

The domestic of modern architectural remodeling method emphasizes simple aesthetic elements, and the correct design and construction methods are not established based on quantitative grounds, thus damaging the value of cultural properties. This study attempts to re-examine the value of modern buildings recognized as old buildings. It is a basic step to present the correct remodeling of the building. The design criteria for exterior wall remodeling of modern buildings were presented. These research results are suitable for energy conservation design standards and can prevent defects in buildings. In the future, more accurate analysis will be required by securing physical property values for various domestic materials through subsequent research.

주제어 : 근대건축물, 리모델링, 습열거동, WUFI

Keywords : Modern Architecture, Remodeling, Hygrothermal Simulation, WUFI

1. 서 론

1-1. 연구의 배경 및 목적

한국의 근대건축물은 우리나라 역사의 한 단편을 보여주는 중요한 건축자산이다. 현존하는 근대건축물들

은 조선시대부터 대한제국, 일제강점기, 대한민국으로 이어지는 중요한 자원으로 이를 보존 및 활용하는 것은 도시의 전체적 맥락을 이어 가는 역할을 한다.

근대건축물에 대한 관심은 1990년대 구 조선총독부 청사 철거 논란이 계기가 된 것으로 이해되고 있다. 일제에 의하여 건축된 대표적인 근대건축물로 한민족을 강압하였던 중심적인 건물인 '총독부 청사'라는 부정적 인식과 상처는 우리나라 어두운 역사의 계승과 청산 문제로 대립 되어 많은 논란을 일으켰다.

\* Corresponding Author : dycheon@hanmail.net

본 연구는 국토교통부 / 국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음. 과제번호: 20PIYR-B153277-02

이후 2001년 「문화재보호법」에 등록문화재 제도가 새롭게 도입, 포함되어 시행되면서 근대건축물의 보존과 활용에 대한 관심은 증대되었다. 또한 2014년에 「한옥 등 건축자산의 진흥에 관한 법률」이 제정되어 건축자산의 기초조사가 전국적으로 진행되었다. 건축자산이란 현재와 미래에 유효한 사회적·경제적·경관적 가치를 지닌 것으로서 한옥 등 고유의 역사적·문화적 가치를 지니거나 국가의 건축문화 진흥 및 지역의 정체성 형성에 기여하는 건축물, 공간환경, 기반시설을 뜻한다.<sup>1)</sup> 이러한 건축자산에서 대다수를 차지하는 것이 근대건축물이다.

그러나 최근에는 근대건축물인 옛 한성은행부산지점(청자빌딩)을 리모델링하여 생활문화 광역 거점센터로 개관을 한지 한 달이 되지 않아서 외벽 작업 등에서의 허술함을 드러나 문제가 제기되었다.<sup>2)</sup> 또한 민족 정기를 되살리기 위해 일제가 강제로 헐었던 경복궁 흥복전을 복원하였으나, 복원 기준 위반사항인 시멘트를 사용하여 경복궁의 원형을 되살리고자 하여 문제가 제기되기도 하였다.<sup>3)</sup> 이처럼 근대건축물을 비롯한 문화재에 대한 중요성은 인식이 제고되었으나 이를 뒷받침하는 보존·복원·관리에 대한 건축적 설계·시공 기술은 아직 미비된 실정이다.

따라서 본 연구에서는 노후 건축물로 인식되고 있는 근대건축물에 대한 가치를 재조명하고, 새로운 용도로 재 활용됨과 아울러 올바른 리모델링을 위한 초기적 단계로 실질적인 외벽 설계기준을 고찰하여 제안하고자 한다.

## 1-2. 연구의 방법 및 절차

본 연구는 근대건축물의 주요 부위인 외벽을 대상으로 습열 거동 분석을 통해 적절한 리모델링 설계기법을 제안하는 것을 목적으로 한다.

대상 근대건축물은 광주 백운동의 ‘지성고시원’으로 선정하였다. 이 건물은 광주 양림동과 근대사를 함께한 역사성이 높은 건축물이나, 현재 노후화가 심각하여 리모델링이 필요한 실정이다. 대상지의 현장 실측을 통해 현재 건축물 하자에 대해 살펴보고, 광주광역시에서 발간한 ‘2012 근대건축물 기록보존사업’ 보고서를 토대로 기초자료를 수집하였다.

현장실측을 토대로 외벽 디테일을 파악 후 독일 Fraunhofer IBP에서 개발한 습열거동 비정상상태 해석

프로그램 ‘WUFI’를 활용하여 리모델링 전(前) 건축물의 거동을 분석하였다. 이를 기반으로 광주광역시 기후에 부합하는 적정수준의 외벽 단열 성능을 개선하여 리모델링 후(後) 건축물의 거동을 분석하여 올바른 리모델링 설계기법에 대해 제안하였다.

이에 본 연구방법은 역사성이 높은 외관을 변경시킬 수 없는 문화재나 이에 준하는 건축물에 적용 가능하며, 올바른 리모델링 방식과 뜻을 같이하게 된다. 향후 전국적으로 많이 수행될 근대건축물의 리모델링에 대한 설계방식의 기초자료가 될 것으로 기대된다.

## 2. 선행연구 고찰

### 2-1. 근대건축물 리모델링 관련 연구

근대건축물 리모델링 관련 연구의 경향은 보존과 활용 측면에 관한 연구, 관련 제도 개선에 관한 연구, 선정 가치 기준에 대한 연구, 구조 특성을 고려한 안전성에 관한 연구가 주를 이루었다.

‘보존과 활용’에 관한 연구는 다음과 같다. 배진아 외(2018)<sup>4)</sup>는 군산 근대 주거 건축물 30개와 리모델링 사업이 진행된 8개 건축물을 대상으로 보존·활용에 따라 분석하고 변화 양상을 보존·철거·교체·보수로 나누어 평가하였다. 김동준(2016)<sup>5)</sup>은 광주극장 현황 분석 및 설문 조사를 통해 근대 건축물의 재생적 가치에 대한 당위성을 부여하고 계획안을 제시하였다. 조인성 외(2014)<sup>6)</sup>는 역사, 문화적으로 재생되고 있는 서울시 정동과 명동일대를 분석하여 근대역사환경 조성방식 특징과 활용된 사례를 비교·분석하였다. 윤성훈·이정수(2010)<sup>7)</sup>는 해외 근대건축물의 보존·활용 과정에서 나타나는 리모델링 수법을 분석하여 국내에 적용 가능한 리모델링 수법을 제시하였다. 또한 문화재청(2006)<sup>8)</sup>에서는 국대문화유산의 국내·외의 보존·활용 사례를 현재의 활용에 초점을 맞추어 과정 및 수법에 대한 전수조사를 실시하였다.

4) 배진아·김종성·김현숙, 「군산 근대 주거 건축물 특징과 ‘근대·일반 건축물 리모델링 보조사업’에 의한 변화 연구」, 한국도시계획학회지, 19권 6호, 2018, 5~14쪽

5) 김동준, 「재생의 관점에서 바라본 근대건축물 활용 계획에 관한 연구」, 전남대학교 석사학위논문, 2016

6) 조인성·오상목·천득염·오세규, 「근대건축물 활용을 통한 도시재생 계획 비교분석 연구」, 대한건축학회지회연합회, 16권 1호, 2014, 65~74쪽

7) 윤성훈·이정수, 「해외 근대건축물 리모델링 수법에 관한 조사연구」, 대한건축학회지회연합회, 12권 1호, 2010, 57~64쪽

8) (사)한국건축역사학회, 「근대문화유산 보존 및 활용사례」, 문화재청, 2006

1) 『한옥 등 건축자산의 진흥에 관한 법률』, 법률 제12739호 (2015.6.4. 시행), 제2조 제1항

2) 국제신문, 2018.05.27. (<http://www.kookje.co.kr/news2011/asp/newbody.asp?code=0500&key=20180528.22021012121>)

3) KBS NEWS, 2019.01.09. (<https://news.kbs.co.kr/news/view.do?ncd=4111905>)

‘관련 제도 개선’에 대한 연구는 다음과 같다. 조용희(2020)<sup>9)</sup>는 창원시에 근대건축물의 활용현황 및 적용된 법규, 제도, 조례의 요소들을 검토하여 이를 통해 발생하게 된 제도의 한계점을 도출하였다. 최찬익·유주연(2018)<sup>10)</sup>은 등록문화재로서 용도 변경이 있는 개발 가능한 건축물을 대상으로 재산권 제한으로 침해되는 이익과 지속적 보전의 공익 간 균형을 이루기 위한 보전 방안을 제시하였다. 심경미·차주영(2014)<sup>11)</sup>은 국내외 유사 제도의 분석과 서울시 사대문 안을 대상으로 적지분석 및 실태파악을 통해 건축자산 진흥구역의 지정기준을 제시 및 운영방안을 제안하였다. 유광흠(2012)<sup>12)</sup>은 해외 건축자산 관리체계를 검토하여 시사점을 도출하여 서울시, 부산시, 군산시를 대상으로 정책 현황을 조사하여 관리방안을 제시하였다. 윤인석(2007)<sup>13)</sup>은 등록문화재 제도의 성과에 대한 자료를 검토 및 평가, 지방 행정관서의 문화재 담당자 설문조사, 내부 세미나와 공청회를 통해 의견을 수렴하여 제도를 보완하고자 하였다.

‘선정 가치 기준’에 대한 연구는 다음과 같다. 박한솔·성종상(2019)<sup>14)</sup>은 후암동과 근대문화유산 가치에 대한 문헌연구를 진행하여 5가지 측면에서 인간의 주관적 인식을 조사하여 유형화할 수 있는 Q방법론을 기반으로 설문을 진행하였다. 이규철·이민경(2017)<sup>15)</sup>은 등록문화재와 가치 기술을 통해 근대건축물의 가치요소를 도출하고, 등록문화재와 건축자산에서 고려하지 않은 새로운 가치 요소를 추가하여 가치 기준을 제시하였다. 박재민·성종상(2013)<sup>16)</sup>은 서양에서 시계열적으로 확장되어 온 문화유산의 선정가치를 참조하여 보전 가치와 관련한 역사적, 미학적, 사회문화적, 학술적, 교육적, 경제적 가치로 제안하였다. 김성조·김영태(2012)<sup>17)</sup>는

건축 문화유산의 보전원칙에 대해 고찰하여 예비 보전 가치 기준 및 항목을 선정하여 관련 전문가들의 설문, 면접조사를 바탕으로 가치평가를 실시하였다. 정이순(2004)<sup>18)</sup>은 5개의 연구된 자료를 재구성하고, 선정기준 항목의 선호도조사를 거쳐서 부산지역을 대상으로 선정기준을 적용하여 7가지 선정기준항목을 도출하였다.

‘구조 및 안정성’에 대한 연구는 다음과 같다. 김란기(2018)<sup>19)</sup>는 보존과 활용을 전제로 역사적 건축물의 수리 혹은 개수에 있어서 일본의 문화재 건조물 보존수리 공사의 시방서를 기반으로 근대 건축물 수리복원 기술을 정리하였다. 이승규(2016)<sup>20)</sup>은 근대건축문화재 구조 안전관리 관련 제도를 종합 검토 및 비교 평가하여 시사점을 도출하여 구조안전관리를 위한 필요 항목을 고찰 및 신설 방안을 제시하였다. 권기혁(2015)<sup>21)</sup>은 근대기에 유입된 대표적 구조 재료인 벽돌과 철근콘크리트로 시공된 두 개의 건축 유산의 보수·보강 사례를 통해 현재의 기능으로 사용되기 위한 구조 보수 방향을 기술하였다. 이윤희·유혜란·권기혁(2011)<sup>22)</sup>은 근대기에 시공된 트러스 중 공공기관이 관리하는 건축물을 대상으로 구조적 영향요인별과 높이들의 연대별 변화와의 상호관계를 분석하였다. 강성원(2008)<sup>23)</sup>은 1890~1945년의 영건조직과 영건조직에 따른 건축적 변화에 대해 기술사적 관점에서 구법의 변화에 대해 고찰하였다.

## 2-2. 연구의 차별성

이처럼 근대건축물 리모델링에 관한 선행연구는 다양한 방식으로 연구가 진행되어 왔다. 선행연구의 방향은 보존과 활용, 관련 제도 개선, 선정 가치 기준, 구조 및 안정성 연구로 진행되어 왔으며, 특히 건축 디자인 관점으로 근대건축물을 보존하고 활용하는 방식에 초점을 맞추어 연구가 진행되어 왔다. 반면에 근대건축물

9) 조용희, 「근대건축물의 보존 및 재활용을 위한 제도 개선에 관한 연구」, 창원대학교 석사학위논문, 2020

10) 최찬익·유주연, 「근대건축물의 등록문화재 등록 활성화 방안 연구」, 한국감정평가학회, 17권 3호, 2018, 129~146쪽

11) 심경미·차주영, 「건축자산 진흥구역 지정 및 운영을 위한 정책 연구」, 건축도시공간연구소, 2014

12) 유광흠, 「지역건축자산의 보존 및 활용을 위한 관리기반 마련 연구」, 건축도시공간연구소, 2012

13) 윤인석, 「근대 건축문화유산 보존 활성화를 위한 등록문화재 제도개선 연구」, 문화재청, 2007

14) 박한솔·성종상, 「Q방법론을 이용한 일본식 건물군의 근대문화유산 가치에 관한 인식 연구」, 한국조경학회, 47권 6호, 2019, 115~128쪽

15) 이규철·이민경, 「근대건축물의 보존 및 활용을 위한 가치 평가 기준 연구」, 건축도시공간연구소, 2017

16) 박재민·성종상, 「근대 문화유산의 평가 기준과 상대적 중요도에 관한 연구」, 한국조경학회, 41권 1호, 2013, 12~20쪽

17) 김성조, 김영태, 「근대건축 문화유산의 보전가치 기준에 관한 연구」, 대한건축학회지회연합회, 14권 1호, 2012, 1~8쪽

18) 정이순, 「근대건축물의 보전을 위한 선정기법에 관한 연구」, 동의대학교 석사학위논문, 2004

19) 김란기, 「근대건축 문화재 보존수리복원」, 발언, 2018

20) 이승규, 「근대건축문화재의 구조안전관리 제도 체계화를 위한 기초연구」, 문화재청, 2016

21) 권기혁, 「근대건축유산의 구조특성을 고려한 보수·보강사례」, 대한건축학회, 59권 4호, 2015, 23~29쪽

22) 이윤희·유혜란·권기혁, 「근대 건축물에 사용된 서양식 목조 지붕 트러스의 구조요인 및 기타 영향요인에 관한 연구」, 한국건축역사학회, 20권 4호, 2011, 95~114쪽

23) 강성원, 「20세기 전반기 양식 건축구법의 변천에 관한 연구」, 서울대학교 박사학위논문, 2008

## 10 논문

리모델링을 위한 적합한 설계방식에 대한 연구는 미비하다. 즉 건축적인 미의 기준에 맞추어 설계되는 근대건축물의 리모델링 방식이 아닌 건축물 하자를 미연에 방지할 수 있는 올바른 설계·시공법은 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 근대건축물 리모델링 시 지역에 부합하는 기후 데이터를 추출하고, 습열 거동 분석을 통하여 적합한 외벽 설계기법을 제안하는 데 있어 기존 연구와 차별성을 둔다. 이처럼 근대건축물 중 역사적으로 인정받은 건축물들을 보전 시 단순 활용 방법에 그치지 않고, 결로, 곰팡이 등의 하자 문제가 발생하지 않도록 습열 환경을 고려한 올바른 설계기법을 제안하고자 한다.

### 3. 지성고시원 현황분석

#### 3-1. 지성고시원 고찰<sup>24)</sup>

지성고시원은 최초 건축주나 건축 연도, 용도 등 사실에 대한 명확한 기록은 보이지 않고 있으나, 현재까지 파악된 바에 의하면 지성고시원은 1927년 또는 1930년대에 최초 설립된 것으로 추정하며 개요는 다음 <표 1>과 같다.

이 건축물은 주거의 용도로 사용한 것으로 1960년에는 호남신학대학이 양림동으로 이전하기 전까지 교사와 기숙사로 이용하였고, 수피아여고, 석산고등학교 학생들의 자취와 하숙 공간으로 이용되었다. 1980년에는 ‘대망고시원’으로 이름을 지어 기숙사로 이용, 2002년에는 ‘지성고시원’으로 이름을 변경, 그러나 점차 건물이 노후화되고 하숙생의 이용이 줄어들어 따라 현재는 고시원의 기능을 상실하고 몇 개의 방만 이용하여 개인 작업공간으로 사용되고 있다.

현재 이 건축물은 광주광역시 내에서 광주 근대 문화유산적 가치를 인정받아 2012년에 근대건축물 기록보존사업으로 설계도면을 확보해 보관하고 있다.

표 1. 지성고시원 건축개요

위 치	광주광역시 남구 백운동 593-23	
연면적/층수	360.03㎡ / 지하1층, 지상1층	
주구조	연와조	
주요특징	지붕 구조는 목재 트러스를 사용한 일식 지붕틀 (일부 철골 구조물로 보강)	
	입면은 영식벽돌쌓기로 근대기적 건축물의 전형적인 양상이 나타남	
보수·수리 연혁	연 도	보수·수리 내용
	1970-80	새마을운동 시 슬레이트 지붕 교체
	2002	실과 창 개조, 화장실 증축 내부 전기공사, 천정 보수공사
	2015	작업공간(3실) 도배공사

24) 전남대학교 건축역사연구실, 『2012 근대건축물 기록화보존사업-기록화보고서』, 2013, 정리요약

#### 3-2. 지성고시원 실측·답사

대상지의 현장 실측은 2020.06.16.에 건축주와 협의 하에 진행하였다. 현재 개인 작업 공간인 3실을 제외한 나머지 공간은 그대로 방치하고 있으며, 수리가 이루어지지 않은 실정이다.

건축물의 형태는 <그림 1>과 같이 긴 장방향으로 정면 진입 출입구를 통해 건물 내부로 들어갈 수 있으며, 반 지하층과 1층으로 구성되어 있다. 기초는 콘크리트 줄기초를 설치하였을 것으로 추정되며, 구조적 내력벽과 의장적 보조벽으로 구성되어 있다.

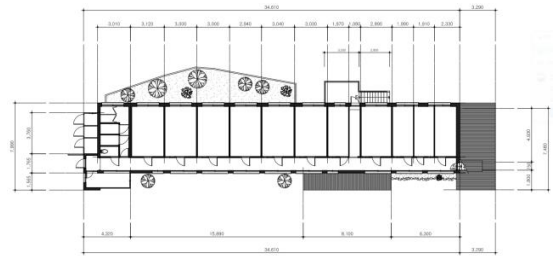


그림 1. 지성고시원 1층 평면도

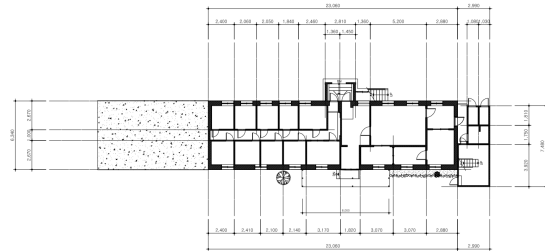


그림 2. 지성고시원 반지하층 평면도

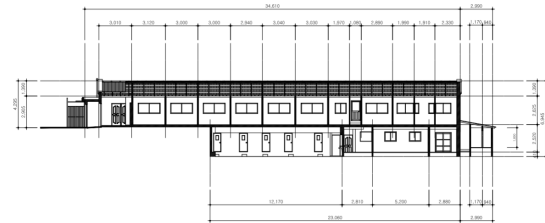
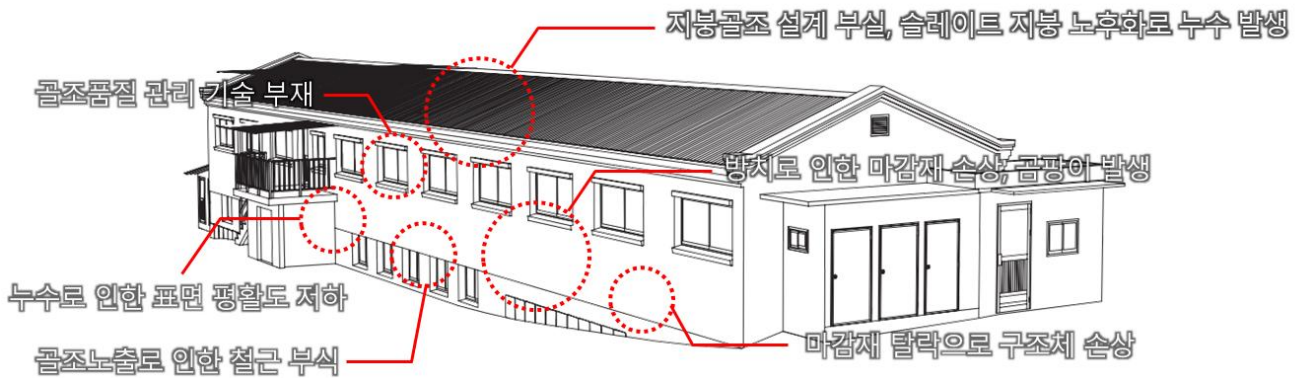


그림 3. 지성고시원 횡단면도

건축물의 하자 발생을 살펴본 결과 다음 <표 2>와 같다. 지붕 부분은 슬레이트로 구성되어 있으며, 구조적으로 보강이 필요한 상태로 전반적인 교체가 필요하다. 이러한 지붕 노후화로 곳곳에 누수가 발생하며, 표면 평활도가 저하된 상태이다. 또한 습한 환경에서 방치된 상태로 오랜 시간이 경과하면서 곳곳에 마감재·구조체 손상, 철근 부식, 곰팡이 발생 등이 발견되었다.

실측·답사 결과, 지붕의 전반적 교체가 가장 시급할 것으로 판단되었으며, 근대건축물로서 역사적 가치가 높은 외벽의 경우, 이를 유지하기 위한 적절한 단열 설계공법이 필요한 것으로 나타났다.

표 2. 지성고시원 건축물 하자 현황



			
지붕 골조 설계 부실	슬레이트 지붕 노후화로 누수 발생	골조품질 관리 기술 부재	누수로 인한 표면 평활도 저하
			
방치로 인한 마감재 손상	곰팡이 발생	골조 노출로 인한 철근 부식	마감재 탈락으로 구조체 손상

#### 4. 연구방법론

##### 4-1. 습열거동분석의 필요성

건축에서 습열환경에 대한 분석의 중요도가 높아 집에 따라 ISO에서도 습열거동 분석에 대한 기준과 방식에 대한 검토 요구가 늘어나는 추세이다. 국내에서도 에너지 절약 설계기준에서 단열재가 이어지는 부위는 투습을 방지할 수 있는 방습층 시공을 기입하고 있다. 이러한 습기에 의한 하자를 판별하고 예측하기 위해서는 정상상태 분석방법과 비정상상태 분석방법을 사용할 수 있다.

정상상태의 방식으로는 글레이저 다이어그램(Glaser Diagram), 2d 유한요소법(FEM) 등의 방법이 있다. 이는 벽체 단열 성능에서 결로점의 위치를 파악하는 것으로 동절기 분석에 용이하지만, 하절기 역결로에 대한 분석에 대해서는 분석이 어려운 측면이 있다.

비정상상태의 방식으로는 WUFI 시뮬레이션이 있다. Fraunhofer IBP에서 개발한 WUFI는 높은 신뢰도로 유럽, 북미, 일본 등에서 많이 사용하고 있다. 최근 다량의 내부 습기 부하의 증가로 건축물 내부에 결로 및 곰팡이 생성 가능성이 높아짐에 따라 실제와 유사한 결과를 얻기 위함으로 습열거동 분석을 통한 품질성능

평가를 하는 프로그램이다.

WUFI는 열과 습기의 물리학적 특성이 결합된 수식과 재료물성(기계, 열, 습 물성), 기상요소(온도, 습도, 전천, 직달, 확산일사량, 반복사량, 풍향, 풍속, 강수량, 기압, 운량 등)이 복합 반영된 알고리즘이 적용되어 있어 자연계에서 건축물의 실측을 통해서만 검증될 수 있는 결과를 시뮬레이션으로 예측할 수 있는 소프트웨어이다.

이러한 WUFI 시뮬레이션은 건축물의 주요 부위들을 대상으로 습열 분석이 가능하도록 개발되어 국내외로 다양한 연구가 진행 중이다.<sup>25)</sup>

25) 권혜주·최정만, 「습열 거동 분석을 통한 국내 에너지절약설계기준의 방습층에 관한 문제점 분석」, 한국생활환경학회, 26권 1호, 2019, 1~8쪽

강유진·김수민, 「WUFI 시뮬레이션 프로그램을 이용한 목조주택 벽체 레이어 구성에 따른 hygrothermal 성능 평가」, 한국목조공학회, 44권 1호, 2016, 75~84쪽

Par Hohansson et al, *Retrofitting a brick wall using vacuum insulation panels: measured hygrothermal effect on the existing structure*, Nordic Symposium on Building Physics, 2014, 1269~1276쪽

Stefan Bichlmair et al. *Testing a new method for VIP interior insulation for heritage buildings*, Nordic Symposium on Building Physics, 2014, 1349~1355쪽

Stefan Bichlmair et al, *Building simulation modelling of the historic building Linderhof Palace taking account visitors*, The Canadian Conference on Building Simulation, 2012, 296~309쪽



그림 4. 세계 다양한 기후조건에서의 WUFI® 시뮬레이션 결과 검증사례(네덜란드, 캐나다, 태국)

4-2. 지성고시원 시뮬레이션 조건

지성고시원 시뮬레이션을 위해서 기상청 실측 데이터를 기반으로 TRY를 생성한 선행연구의 데이터를 활용하여 광주지역 기상데이터를 적용하였다.

지성고시원은 현재의 외벽구성은 <표 3>의 ‘현황’과 같으나, 준공 당시의 외벽의 구성은 단열재가 없을 것으로 추정된다. 준공 당시에는 단열재가 보편적이지도 않았으며 PVC 계열의 벽지가 보급되지도 않았기 때문에 벽지의 종류도 합지벽지 이거나 페인트 정도로 시공되었을 것으로 사료된다.

표 3. 지성고시원 건축물 외벽 구성

구분	외벽구성	구성	성능 (W/m²K)
준공시		벽돌 90T+ 철근콘크리트 300T +실내 마감	2.535
현황		벽돌 90T+ 철근콘크리트 300T +내단열(저밀도 글라스울) 50T +합판 및 마감	0.64

1930년대에 준공되어 1970년대에 지붕 슬레이트 교체, 2000년 초반 부분적 보수, 그 후 2015년에 이르러 개인 작업공간을 포함한 3개의 실을 제외하고는 방치하고 있다. 리모델링 전·후 벽체 안전성 분석을 위해서는 현재 벽체 상태에 대한 분석이 필수적이다. 현재 상용화되고 있는 건축재료의 경우 대부분의 구성이 비교적 체계화 되어 있다. 그러나 기축 건축물의 경우 습열 거동분석(재료의 밀도, 공극률, 함습량에 따른 열전도를 변화율)에 필요로 하는 재료 물성은 데이터화 되어 있지 않다. 또한 내단열 리모델링을 수행하였을 경우 연중 벽체 내부의 온도 구배가 달라지고 실내 측으로 건조되는 습기의 양과 실외 측으로 건조되는 습기의 양이 달라져 그 내부 재료의 물성이 달라지게 된다.

그러나 현재 기록상 내단열 리모델링이 수행된 시점을 명확히 확인할 수 없다. 이에 본 연구에서는 재료의 초기 물성으로 Fraunhofer IBP에서 제공한 벽돌과 철근콘크리트의 물성 중 가장 열악하게 분석되는 물성을 선택하여 안전율을 확보하고 그림 <그림3>와 같이 준공 후 리모델링이 수행되었던 시점마다 내단열을 보강하는 대안을 만들어 벽체가 안정화 되는 기간을 분석하고, 이들을 종합하여 시뮬레이션의 안정성 및 신뢰도를 확보하고자 한다.

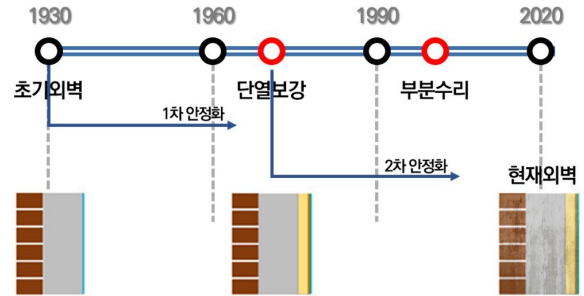


그림 5. 지성고시원 외벽 안정화 분석

리모델링하기 위한 외벽의 구성과 그 내부 재료 물성의 설정값은 <표 4>의 방식과 같이 산출하였고 외벽 구성은 현행법 기준 에너지절약설계기준에서 제시하는 외벽의 열적 성능을 만족할 수 있는 KS에서 제시하는 재료 물성으로 구성하였다. 국내 KS의 경우 단열재의 재료 물성을 밀도와 열전도율 정도만 제시하고 있기 때문에 그 외 습열 거동에 필요한 재료 물성은 <표 5>와 같이 Fraunhofer IBP에서 제안하고 있는 물성 중 밀도와 열전도율 측면에서 가장 유사한 제품을 선택하여 시뮬레이션하였다.

표 4. 리모델링을 위한 외벽구성의 기본 물성

리모델링 벽체 구성	재료 종류	적용두께(mm)
	벽돌	90
	철근콘크리트	300
	내단열	Var
	석고보드	19
	합지벽지	0.1

내단열 종류별 기본 물성 및 적용 두께					
타입 구분	내단열종류	열전도율 (W/mK)	적용 두께 (mm)	밀도 (kg/m³)	근거
A	압출법	0.028	75	35	KS

B	비드뱃1종	0.04	105	20	KS
C	비드뱃2종	0.033	90	20	KS
D	경질우레탄1종	0.026	70	25	KS
E	경질우레탄2종	0.038	75	25	KS
F	글라스울	0.038	100	24	KS
G	암면	0.038	100	161-300	KS
H	페놀폼	0.022	60	40	DIN
I	셀룰로오스	0.04	105	60	DIN

표 5. 습열거동분석에 반영되는 재료물성

물성종류	단위	특징
Sepec, Heat Capacity	J/kgK	단일값
Porosity	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	단일값
Moisture Storage Fuction	kg/m <sup>3</sup>	상대습도에 따라 변함
Liquid Transport Coefficient, Suction	m <sup>2</sup> /s	함수율에 따라 변함
Liquid Transport Coefficient, Redistribution	m <sup>2</sup> /s	함수율에 따라 변함
Water Vapour Diffusion Resistance Factor, Moisture	-	상대습도에 따라 변함
Thermal Conductivity, moisture-dependent	W/mK	함수율에 따라 변함
Thermal Conductivity, Temperature-dependent	W/mK	온도에 따라 변함
Enthalpy, Temperature-dependent	J/kg	온도에 따라 변함

4-3. 분석방법

습열거동분석은 시간 단위로 연중 습도의 분포와 움직임 기반으로 벽체 내부의 상황을 시뮬레이션하는 것으로 실내·외 표면분석 뿐만 아니라 건축재료별 함습률과 연중 온도 분석까지 가능하다. 이러한 분석 방식은 벽돌의 파손 가능성 여부, 접착 모르타르의 탈락 가능성, 보이지 않는 벽체 내부의 결로·곰팡이 발생 가능성 등 보다 자세한 결과를 얻을 수 있다.

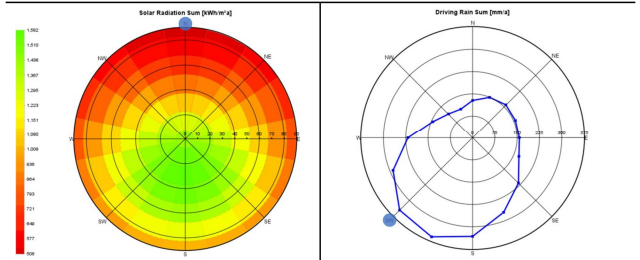
이에 본 연구에서는 거주자의 쾌적성을 저해할 수 있는 결로·곰팡이 발생 가능성과 문화적 가치가 높은 외벽의 조적조 파손 가능성을 중점으로 분석하였다.

이러한 분석의 결과는 시간 단위로 건조되는 수분의 함량과 빗물이 들이치는 정도를 반영하여 시뮬레이션이 수행되기 때문에 <표 6>과 같이 일사량이 취약한 북측과 빗물에 취약한 남서측을 선정하였다. 건축물의 향 중 가장 취약한 2가지 향에 대하여 극복할 수 있는 외벽의 구성은 다른 향에서는 훨씬 더 안정적인 양상을 보이기 때문에 2가지 향을 중점으로 시뮬레이션을 수행하였다.

표 6. 시뮬레이션 개요 및 설정조건 및 분석위치

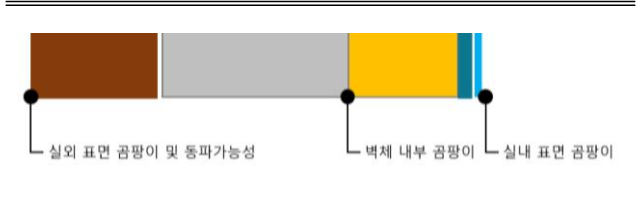
구분	내용
실외기후	광주 TRY
실내기후	EN 15026
분석기간	2020.06.18. - 2025.06.18

일사 취약, 빗물취약 향 위치



일사에 취약한 향: 북      빗물에 취약한 향: 남서

벽체 부위별 하자분석 위치



습열거동 시뮬레이션 결과에서 발생하는 곰팡이 양상추이에 대한 결과는 Mold Index<sup>26)</sup> 지수로 표현하였다. 습열거동분석에 실측과 시뮬레이션에 대한 연구가 동반되어야 더욱 신뢰성 있는 판단이 가능하지만, 이번 연구에서는 장기간의 실측이 어렵기 때문에 곰팡이 발생량에 대한 기준을 Mold Index 활용하여 평가하였다.

<표 7>은 Mold Index 각 값에 대한 기준을 나타낸 것으로 곰팡이 발아 상태에 따라 7가지 등급으로 분류하였다. 본 연구에서는 현미경으로 성장 관찰이 가능한 수준을 넘어 육안으로 성장이 관찰되기 시작하는 'Mold Index 3' 이상의 등급을 하자로 판단하였다.

표 7. Mold Index 개요

Mold Index	곰팡이 발아 상태
0	성장 없음
1	현미경으로 약간 성장이 관찰됨
2	현미경으로 성장 관찰 가능, 10% 이상의 분포
3	육안으로 약간의 성장이 관찰됨
4	육안으로 10% 이상의 분포
5	50%이상의 분포
6	전체 분포, 100%

26) Viitanen, H.; Krus, M.; Ojanen, T.; Eitner, V.; Zirkelbach, D.: Mold risk classification based on comparative evaluation of two established growth models. In: Energy Procedia 78, 2015, 1425~1430쪽

14 논문

5. 분석결과

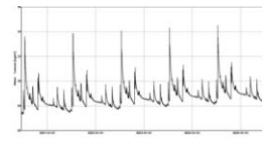
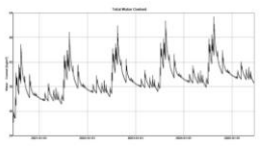
5-1. 1차 시뮬레이션

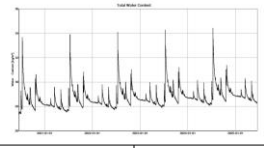
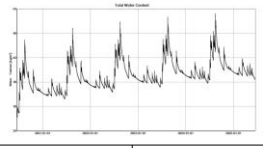
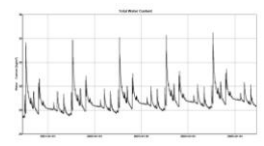
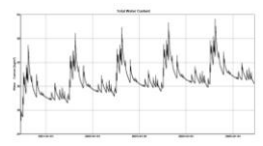
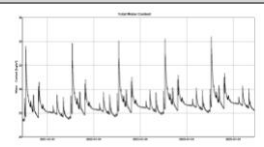
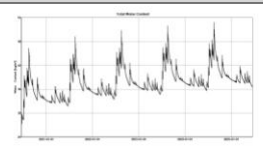
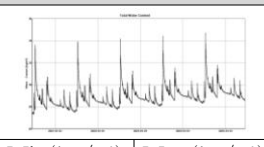
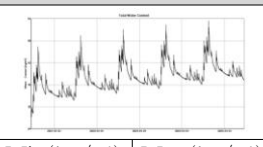
1차 시뮬레이션은 기존 현장에서 진행되는 일반적인 단열 설계·시공방식으로 KS 단열재별로 외벽을 리모델링한 방식이다. 이러한 외벽을 5년 동안 습열거동 분석을 수행하였고, 다음 <표 8>과 같다. 분석 결과, 보이지 않은 벽체 내부 중 철근콘크리트와 단열재가 면하는 공간에서 작게는 육안으로 보이는 수준의 곰팡이 성장(Mold Index 3)이 나타났고, 크게는 곰팡이가 전체적으로 분포하는 수준(Mold Index 6)까지 나타나 심각한 수준으로 나타났다.

즉, 단열 구성에 있어서 전반적으로 벽체의 함습량이 증가하였고, 외벽 내부에서 곰팡이가 발생하여 시간 경과에 따라 다양한 하자 문제로 이어질 수 있다. 나아가 이러한 현상은 불안정한 습열 환경으로 문화재 훼손까지 이어질 수 있다.

KS에서 제시하는 단열재들을 기존 내단열 공법으로 주요 외벽을 보존하고, 지성고시원을 리모델링 했을 시 건축물 내부에서 다양한 하자 발생이 나타났다. 이처럼 지성고시원 뿐만 아니라 근대건축물과 같이 오래된 건축물의 경우, 기밀성능이 좋지 않아 실내의 습기가 지속적으로 외벽에 누적될 수 있기 때문에, 기밀성능을 주요안점으로 둔 별도의 설계·시공법 방식으로 리모델링을 해야 할 것이다.

표 8. 1차 시뮬레이션 분석결과

타입 구분	분석결과					
압출법	총합습량(북)			총합습량(남서)		
						
	Min(kg/m <sup>2</sup> )	Max(kg/m <sup>2</sup> )	Min(kg/m <sup>2</sup> )	Max(kg/m <sup>2</sup> )	Min(kg/m <sup>2</sup> )	Max(kg/m <sup>2</sup> )
	28.13	34.51	35.86	53.07		
	Mold Index					
	북향			남서향		
	외벽 표면	단열재 내부	내벽 표면	외벽 표면	단열재 내부	내벽 표면
0.12	4.49	0	0.53	6.0	0	

비드법 1종	총합습량(북)			총합습량(남서)		
						
	Min(kg/m <sup>2</sup> )	Max(kg/m <sup>2</sup> )	Min(kg/m <sup>2</sup> )	Max(kg/m <sup>2</sup> )	Min(kg/m <sup>2</sup> )	Max(kg/m <sup>2</sup> )
	28.08	34.45	36.69	52.88		
	Mold Index					
	북향			남서향		
	외벽 표면	단열재 내부	내벽 표면	외벽 표면	단열재 내부	내벽 표면
0.12	3.44	0	0.51	4.29	0	
비드법 2종	총합습량(북)			총합습량(남서)		
						
	Min(kg/m <sup>2</sup> )	Max(kg/m <sup>2</sup> )	Min(kg/m <sup>2</sup> )	Max(kg/m <sup>2</sup> )	Min(kg/m <sup>2</sup> )	Max(kg/m <sup>2</sup> )
	28.11	34.48	35.73	52.92		
	Mold Index					
	북향			남서향		
	외벽 표면	단열재 내부	내벽 표면	외벽 표면	단열재 내부	내벽 표면
0.12	3.65	0	0.52	4.63	0	
경질우레탄 1종	총합습량(북)			총합습량(남서)		
						
	Min(kg/m <sup>2</sup> )	Max(kg/m <sup>2</sup> )	Min(kg/m <sup>2</sup> )	Max(kg/m <sup>2</sup> )	Min(kg/m <sup>2</sup> )	Max(kg/m <sup>2</sup> )
	28.04	34.41	35.66	52.83		
	Mold Index					
	북향			남서향		
	외벽 표면	단열재 내부	내벽 표면	외벽 표면	단열재 내부	내벽 표면
0.12	3.48	0	0.52	6.0	0	
경질우레탄 2종	총합습량(북)			총합습량(남서)		
						
	Min(kg/m <sup>2</sup> )	Max(kg/m <sup>2</sup> )	Min(kg/m <sup>2</sup> )	Max(kg/m <sup>2</sup> )	Min(kg/m <sup>2</sup> )	Max(kg/m <sup>2</sup> )
	28.32	34.72	36.14	53.44		
	Mold Index					
	북향			남서향		
	외벽 표면	단열재 내부	내벽 표면	외벽 표면	단열재 내부	내벽 표면
0.12	5.0	0	0.52	6.0	0	



글라스울	총합습량(북)			총합습량(남서)		
	Min(kg/m <sup>3</sup> )	Max(kg/m <sup>3</sup> )		Min(kg/m <sup>3</sup> )	Max(kg/m <sup>3</sup> )	
	27.97	34.31		35.45	52.56	
	Mold Index					
	북향			남서향		
외벽 표면	단열재 내부	내벽 표면	외벽 표면	단열재 내부	내벽 표면	
0.12	3.83	0	0.52	4.13	0	
암면	총합습량(북)			총합습량(남서)		
	Min(kg/m <sup>3</sup> )	Max(kg/m <sup>3</sup> )		Min(kg/m <sup>3</sup> )	Max(kg/m <sup>3</sup> )	
	28.00	34.34		35.48	52.59	
	Mold Index					
	북향			남서향		
외벽 표면	단열재 내부	내벽 표면	외벽 표면	단열재 내부	내벽 표면	
0.12	3.91	0	0.52	4.23	0	
페놀폼	총합습량(북)			총합습량(남서)		
	Min(kg/m <sup>3</sup> )	Max(kg/m <sup>3</sup> )		Min(kg/m <sup>3</sup> )	Max(kg/m <sup>3</sup> )	
	28.29	34.69		36.12	53.42	
	Mold Index					
	북향			남서향		
외벽 표면	단열재 내부	내벽 표면	외벽 표면	단열재 내부	내벽 표면	
0.12	5.08	0	0.52	6.0	0	
셀룰로오스	총합습량(북)			총합습량(남서)		
	Min(kg/m <sup>3</sup> )	Max(kg/m <sup>3</sup> )		Min(kg/m <sup>3</sup> )	Max(kg/m <sup>3</sup> )	
	28.76	35.11		36.23	53.37	
	Mold Index					
	북향			남서향		
외벽 표면	단열재 내부	내벽 표면	외벽 표면	단열재 내부	내벽 표면	
0.12	5.61	0	0.51	5.8	0	

벽돌의 동파 가능성에 대한 분석은 벽돌이 연중 합습하는 수분의 양과 외벽의 연중 온도변화 분석을 통하여 파

악할 수 있다. 겨울철 벽돌이 합습하는 습도량이 95%가 초과하는 경우, 벽돌의 온도가 영하의 온도를 갖게 되면 벽돌 내부 수분이 동결되어 동파로 이어질 수 있다. 이러한 기간이 연중으로 길게 지속된다면 외벽 마감재의 파괴 및 탈락 현상으로 이어진다. 시간 단위로 재료의 합습 성능을 분석하는 습열거동 분석이 이러한 동파의 가능성을 예측할 수 있다. 분석한 결과 값으로 다음 <표 9>과 같고, 지성고시원의 경우 리모델링 시 광주지역의 기후 특성 상 외부 벽돌의 파손까지는 이어지지 않을 것으로 나타났다.

표 9. 타입별 외벽 파손 가능성 분석결과

타입구분	단열재 종류	연중 위험 시간(h)
A	압출법	0.0
B	비드법1종	0.0
C	비드법2종	0.0
D	경질우레탄1종	0.0
E	경질우레탄2종	0.0
F	글라스울	0.0
G	암면	0.0
H	페놀폼	0.0
I	셀룰로오스	0.0

5-2. 2차 시뮬레이션

2차 시뮬레이션은 기존의 내단열 공법이 아닌, 기밀성 성능에 주안점을 둔 설계·시공법을 적용하여 KS 단열재별로 외벽을 리모델링한 방식이다. 실내의 방습층 구축, 구조재 사이의 틈을 최소화하는 방식으로 다양한 하자 발생을 최소화할 수 있다.

KS 단열재 종류에 따른 기밀 시공법은 다음 <표 10>과 같다. 무기질 단열재(글라스울, 암면, 셀룰로오스)의 경우 나무 스티드로 구조를 형성한 후 그사이에 단열재를 채우고 실내 측에 가변형 방습지를 시공하는 방식으로 기밀층을 형성한다. 유기질 단열재(압출법, 비드법, 경질우레탄, 페놀폼)의 경우 단열재 뒷면으로 실내 기류가 통하지 않도록 접착 모르타르를 ‘Ribbon&Dab’ 방식으로 시공을 하고, 표면의 단열재 사이를 테이핑하여 기밀층을 형성한다.

표 10. 단열재 종류별 기밀시공 방식

무기질 단열재	유기질 단열재	
가변형 방습지	Ribbon&Dab 시공법	단열사이 기밀테이프

16 논문

이러한 설계·시공법을 반영하여 투습 계수가 높은 단열재에 방습층을 추가하고 기밀성능을 향상한 대안들을 시뮬레이션한 결과는 다음 <표 11>과 같다. 분석 결과, 모든 대안에서 실내·외 표면에 곰팡이는 발생하지 않았으나 압출법(Mold Index 4.31), 경질우레탄 2중 (Mold Index 5.23), 페놀폼(Mold Index 5.23), 셀룰로오스 (Mold Index 3.74)의 경우 보이지 않는 외벽 내부에서 곰팡이가 다량 발생할 수 있는 것으로 나타났다. 즉, 내단열 리모델링 시 KS 단열재를 선택적으로 사용해야 하는 것으로 나타났다.

표 11. 2차 시뮬레이션 분석결과

타입 구분	분석결과					
압출법	총합습량(북)			총합습량(남서)		
	Min(kg/m <sup>2</sup> )		Max(kg/m <sup>2</sup> )	Min(kg/m <sup>2</sup> )		Max(kg/m <sup>2</sup> )
	27.35		33.73	35.38		52.6
	Mold Index					
	북향			남서향		
	외벽 표면	단열재 내부	내벽 표면	외벽 표면	단열재 내부	내벽 표면
0.12	0.53	0	0.53	4.31	0	
비드법 1 중	총합습량(북)			총합습량(남서)		
	Min(kg/m <sup>2</sup> )		Max(kg/m <sup>2</sup> )	Min(kg/m <sup>2</sup> )		Max(kg/m <sup>2</sup> )
	27.33		33.79	35.30		52.5
	Mold Index					
	북향			남서향		
	외벽 표면	단열재 내부	내벽 표면	외벽 표면	단열재 내부	내벽 표면
0.12	0.26	0	0.51	2.49	0	
비드법 2 중	총합습량(북)			총합습량(남서)		
	Min(kg/m <sup>2</sup> )		Max(kg/m <sup>2</sup> )	Min(kg/m <sup>2</sup> )		Max(kg/m <sup>2</sup> )
	27.31		33.78	35.32		52.51
	Mold Index					
	북향			남서향		
	외벽 표면	단열재 내부	내벽 표면	외벽 표면	단열재 내부	내벽 표면
0.12	0.23	0	0.52	2.92	0	

경질우레탄 1 중	총합습량(북)			총합습량(남서)		
	Min(kg/m <sup>2</sup> )		Max(kg/m <sup>2</sup> )	Min(kg/m <sup>2</sup> )		Max(kg/m <sup>2</sup> )
	27.28		33.75	35.26		52.45
	Mold Index					
	북향			남서향		
	외벽 표면	단열재 내부	내벽 표면	외벽 표면	단열재 내부	내벽 표면
0.12	0.21	0	0.52	2.56	0	
경질우레탄 2 중	총합습량(북)			총합습량(남서)		
	Min(kg/m <sup>2</sup> )		Max(kg/m <sup>2</sup> )	Min(kg/m <sup>2</sup> )		Max(kg/m <sup>2</sup> )
	27.28		33.83	35.59		52.89
	Mold Index					
	북향			남서향		
	외벽 표면	단열재 내부	내벽 표면	외벽 표면	단열재 내부	내벽 표면
0.12	0.73	0	0.52	5.23	0	
글라스울	총합습량(북)			총합습량(남서)		
	Min(kg/m <sup>2</sup> )		Max(kg/m <sup>2</sup> )	Min(kg/m <sup>2</sup> )		Max(kg/m <sup>2</sup> )
	26.93		33.56	34.89		52.07
	Mold Index					
	북향			남서향		
	외벽 표면	단열재 내부	내벽 표면	외벽 표면	단열재 내부	내벽 표면
0.12	0.02	0	0.52	0.39	0	
암면	총합습량(북)			총합습량(남서)		
	Min(kg/m <sup>2</sup> )		Max(kg/m <sup>2</sup> )	Min(kg/m <sup>2</sup> )		Max(kg/m <sup>2</sup> )
	26.97		33.59	34.98		52.1
	Mold Index					
	북향			남서향		
	외벽 표면	단열재 내부	내벽 표면	외벽 표면	단열재 내부	내벽 표면
0.12	0.02	0	0.52	0.44	0	

6. 결 론

국내 근대건축물 리모델링 방식은 단순 미적인 요소를 강조하고, 정량적 근거를 바탕으로 올바른 설계·시공법이 정립되지 않아 문화재적 가치를 훼손하고 있는 실정이다. 이 중 지성고시원은 우리나라 한 역사의 단편을 보여주는 소중한 문화유산 중 하나로서 올바른 리모델링을 위한 초기적 단계로 실질적인 외벽 설계기준을 고찰하여 제안했으며 결과는 다음과 같다.

첫째, 에너지절약설계기준에 준하는 기준으로 지성고시원의 외벽을 기존 내단열 설계·시공법으로 진행했을 시 표면의 곰팡이나 하자는 발생하지 않았다. 그러나 외벽 자체 내부에 결로와 곰팡이가 다량 발생할 가능성이 높게 나타나, 향후 근대건축물로서 역사적 가치가 높은 외벽의 훼손이 우려된 실정이다.

둘째, KS에서 제시하는 단열재의 종류를 무기질, 유기질로 구분하여 각각의 기밀성능이 높은 설계·시공법으로 리모델링 했을 시 9개의 단열재 중 5개의 단열재(글라스울, 암면, 비드법 1종, 비드법 2종, 경질우레탄 1종)를 사용할 것을 제안하였다.

셋째, KS에서 제안하는 단열재들과 같은 계열의 다른 밀도를 갖은 단열재를 사용하는 경우, ‘지성고시원 리모델링 권장안’에 기입되어 있는 등가공기층두께(SD-Value) 값을 유지한다면 유사한 습열거동 확보로 올바른 리모델링 설계·시공법을 유지할 수 있다.

다만 실내의 습도 부하 및 연중 장마 기간에 빗물의 영향으로 보이지 않는 벽체 내부에서 결로와 곰팡이가 다량 발생할 가능성이 존재함을 확인하였고, 이를 저감하기 위한 방식으로 방습층과 합지벽의 복합구성의 효과를 시뮬레이션 검증하였다.

본 연구는 기존 외벽의 구성과 내단열로 추가되는 재료의 물성을 국내 기준의 습열 물성 데이터가 전무하여 독일의 실측값을 차용하였다는 한계점이 있다. 그러나 문화재에 준하는 건물의 리모델링 방식에 있어 온습환경분석을 적용하여 외벽 설계 방법의 제안에 의의가 있으며 후속 연구를 통하여 다양한 국산 자재의 습열 물성 보강, 기존건축물의 습열 물성의 측정방법론적 제안 등을 통하여 분석 결과의 신뢰도를 확보할 수 있을 것으로 보인다.

참고문헌

1. 국토교통부, 「한옥 등 건축자산의 진흥에 관한 법률」,

페 놀 폼	총합습량(북)			총합습량(남서)		
	Min(kg/m <sup>3</sup> )	Max(kg/m <sup>3</sup> )		Min(kg/m <sup>3</sup> )	Max(kg/m <sup>3</sup> )	
	27.25	33.81		35.57	52.87	
	Mold Index					
	북향			남서향		
외벽 표면	단열재 내부	내벽 표면	외벽 표면	단열재 내부	내벽 표면	
0.12	0.89	0	0.52	5.23	0	

셀 룰 로 오 스	총합습량(북)			총합습량(남서)		
	Min(kg/m <sup>3</sup> )	Max(kg/m <sup>3</sup> )		Min(kg/m <sup>3</sup> )	Max(kg/m <sup>3</sup> )	
	27.75	34.31		35.69	52.86	
	Mold Index					
	북향			남서향		
외벽 표면	단열재 내부	내벽 표면	외벽 표면	단열재 내부	내벽 표면	
0.12	1.92	0	0.53	3.74	0	

이러한 분석 결과를 토대로 지성고시원의 올바른 외벽 내단열 리모델링 설계·시공법은 다음 <표 12>와 같다. 무기질 단열재의 경우 글라스울, 암면을 사용해야 하며, 두께와 SD 값은 100mm/0.1m, 100mm/0.13m를 사용하는 것을 권장한다. 유기질 단열재의 경우 비드법 1종, 비드법 2종, 경질우레탄 1종을 사용해야 하며, 두께와 SD 값은 105mm/3.15m, 90mm/4.5m/70mm/3.5m를 사용하는 것을 권장한다. 본 연구에서 사용한 단열재와 같은 계열의 다른 밀도의 단열재를 사용하는 경우라 할지라도 등가공기층두께(SD-Value) 값을 유지한다면 유사한 습열거동을 확보할 수 있다.

표 12. 지성고시원 리모델링 권장안

무기질			유기질		
단열재	두께(mm)	SD 값(m)	단열재	두께(mm)	SD 값(m)
글라스울	100	0.1	비드법 1종	105	3.15
			비드법 2종	90	4.5
암면	100	0.13	경질우레탄 1종	70	3.5

- 법률 제12739호, 2018
2. 강성원, 「20세기 전반기 양식 건축구법의 변천에 관한 연구」, 서울대학교 대학원 박사학위논문, 2008
  3. 강유진·김수민, 「WUFI 시뮬레이션 프로그램을 이용한 목조주택 벽체 레이어 구성에 따른 hygrothermal 성능 평가」, 한국목조공학회, 44권 1호, 2016
  4. 권기혁, 「근대건축유산의 구조특성을 고려한 보수·보강 사례」, 대한건축학회, 59권 4호, 2015
  5. 권혜주·최정만, 「습열 거동 분석을 통한 국내 에너지절약설계기준의 방습층에 관한 문제점 분석」, 한국생활환경학회, 26권 1호, 2019
  6. 김동준, 「재생의 관점에서 바라본 근대건축물 활용 계획에 관한 연구」, 전남대학교 대학원 석사학위논문, 2016
  7. 김란기, 「근대건축 문화재 보존수리복원」, 발언, 2018
  8. 김성조·김영태, 「근대건축 문화유산의 보전가치 기준에 관한 연구」, 대한건축학회지회연합회, 14권 1호, 2012
  9. 박재민·성종상, 「근대 문화유산의 평가 기준과 상대적 중요도에 관한 연구」, 한국조경학회, 41권 1호, 2013
  10. 박한솔·성종상, 「Q방법론을 이용한 일본식 건물군의 근대문화유산 가치에 관한 인식 연구」, 한국조경학회, 47권 6호, 2019
  11. 배진아·김종성, 김현숙, 「군산 근대 주거 건축물 특징과 '근대·일반 건축물 리모델링 보조사업'에 의한 변화 연구」, 한국도시설계학회지, 19권 6호, 2018
  12. 심경미·차주영, 「건축자산 진흥구역 지정 및 운영을 위한 정책 연구」, 건축도시공간연구소, 2014
  13. 유광흠, 「지역건축자산의 보존 및 활용을 위한 관리기반 마련 연구」, 건축도시공간연구소, 2012
  14. 윤성훈·이정수, 「해외 근대건축물 리모델링 수법에 관한 조사연구」, 대한건축학회지회연합회, 2010
  15. 윤인석, 「근대 건축문화유산 보존 활성화를 위한 등록 문화재 제도개선 연구」, 문화재청, 2007
  16. 이규철·이민경, 「근대건축물의 보존 및 활용을 위한 가치 평가 기준 연구」, 건축도시공간연구소, 2017
  17. 이승규, 「근대건축문화재의 구조안전관리 제도 체계화를 위한 기초연구」, 문화재청, 2016
  18. 이윤희·유혜란·권기혁, 「근대 건축물에 사용된 서양식 목조 지붕 트러스의 구조요인 및 기타 영향요인에 관한 연구」, 한국건축역사학회, 20권 4호, 2011
  19. 전남대학교 건축역사연구소, 「2012 근대건축물 기록화 보존사업-기록화보고서」, 2013
  20. 정이순, 「근대건축물의 보전을 위한 선정기법에 관한 연구」, 동의대학교 대학원 석사학위논문, 2004
  21. 조용희, 「근대건축물의 보존 및 재활용을 위한 제도 개선에 관한 연구」, 창원대학교 대학원 석사학위논문, 2020
  22. 조인성·오상목·천득염·오세규, 「근대건축물 활용을 통한 도시재생계획 비교분석 연구」, 대한건축학회지회연합회, 2014
  21. 최찬의·유주연, 「근대건축물의 등록문화재 등록 활성화 방안 연구」, 한국감정평가학회, 17권 3호, 2018
  22. (사)한국건축역사학회, 「근대문화유산 보존 및 활용사례」, 문화재청, 2006
  23. Par Johansson·Stig Geving·Carl-Eric Hagentoft·Bjorn Petter Jelle·Egil Rognvik·Angela Sasic Kalagasidis·Berit Time, *Retrofitting a brick wall using vacuum insulation panels: measured hygrothermal effect on the existing structure*, Nordic Symposium on Building Physics, 2014
  24. Stefan Bichlmair·Marin Krus·Ralf Kilian, *Testing a new method for VIP interior insulation for heritage buildings*, Nordic Symposium on Building Physics, 2014
  25. Stefan Bichlmair·Ralf Kilian·Martin Krus·Klaus Sedlbauer, *Building simulation modelling of the historic building Linderhof Palace taking account visitors*, The Canadian Conference on Building Simulation, 2012
  26. Viitanen, H.; Krus, M.; Ojanen, T.; Eitner, V.; Zirkelbach, D.: *Mold risk classification based on comparative evaluation of two established growth models*. In: Energy Procedia 78, 2015, 1425~1430쪽
  27. 국제신문, <http://www.kookje.co.kr>, 2018.05.27.
  28. KBS NEWS, <https://news.kbs.co.kr>, 2019.01.09.

접수(2020. 10. 05)

수정(1차: 2020. 10. 26)

게재확정(2020. 11. 02)